



PCT/FR 98/01954

17 SEP. 1998

EU

REC'D	05 OCT 1998
WIPO	PCT

09 / 02 / 98

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 16 SEP. 1998

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS Cedex 08
Telephone 01 53 04 53 04
Telecopie 01 42 93 59 30



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

BREVET D'INVENTION, CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle-Livre VI

cerfa
N° 55 -1328

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réserve à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES **12 SEP 1997**

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL **97 11391 -**

DÉPARTEMENT DE DÉPÔT **97**

DATE DE DÉPÔT **12 SEP. 1997**

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

SOCIÉTÉ DE PROTECTION
DES INVENTIONS
25 rue de Ponthieu
75008 PARIS

n° du pouvoir permanent **SP 14134-C/PM** références du correspondant **01 53 83 94 00** date **12 SEP 1997**

2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

☒ brevet d'invention ☐ demande divisionnaire

☐ certificat d'utilité ☐ transformation d'une demande de brevet européen

☐ demande initiale

☐ brevet d'invention ☐ certificat d'utilité n°

Établissement du rapport de recherche ☐ différé ☒ immédiat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance ☐ oui ☐ non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

AMPLIFICATEUR A LARGE SURFACE AVEC RECOMBINEUR A INTERFERENCES MULTIMODES.

3 DEMANDEUR (S) n° SIREN **FRANCE TELECOM** code APE-NAF

Norm et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

Forme juridique **Société Anonyme**

Nationalité (s) **Française**

Adresse (s) complète (s) **8 place d'Alleray 75015 PARIS** Pays **France**

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre ☐

4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs ☐ oui ☒ non Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES ☐ requise pour la 1ère fois ☐ requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission

6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine	numéro	date de dépôt	nature de la demande
		1956	

7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n°

8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (nom et qualité du signataire - n° d'inscription) **D. DU BOISBAUDRY CPI 950304**

SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

Is le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur.

DIVISION ADMINISTRATIVE DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 Paris Cedex 08

Tel : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

SP 14134.C/PM

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

9711391

TITRE DE L'INVENTION :

AMPLIFICATEUR A LARGE SURFACE AVEC RECOMBINEUR A INTERFERENCES
MULTIMODES.

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

D. DU BOISBAUDRY
c/o SOCIÉTÉ DE PROTECTION
DES INVENTIONS
25 rue de Ponthieu
75008 PARIS

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

DEVAUX Fabrice

17 rue Louis Rolland
92120 MONTRouGE

VERGNOL Eric

60, rue des Pivoines
92160 ANTONY

FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

PARIS LE 12 SEPTEMBRE 1997

D. DU BOISBAUDRY
CPI 950304

AMPLIFICATEUR A LARGE SURFACE AVEC RECOMBINEUR A
INTERFERENCES MULTIMODES

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR

5 La présente invention concerne un coupleur
à interférences multimodes (ou coupleur
interférométrique multimode : coupleur MMI), pouvant
par exemple être utilisé dans un amplificateur semi-
conducteur pour les télécommunications.

10 Le coupleur selon l'invention peut trouver
application dans la réalisation de composants optiques
sur semi-conducteur InP ou AsGa (laser, laser-
modulateur, ...).

15 Un exemple d'application est la réalisation
d'un amplificateur délivrant une puissance optique plus
importante qu'un amplificateur semi-conducteur
standard.

20 Un autre exemple d'application concerne
tous les systèmes de transmission où un amplificateur
très linéaire est nécessaire.

25 Les coupleurs multimodes, ainsi que leur
application à l'optique intégrée, sont déjà connus dans
l'art antérieur : des exemples de coupleurs et leurs
applications sont donnés dans les articles de L.B.
SOLDANO, Journal of Lightwave Technology, vol.13, n°4,
page 615, 1995 et dans l'article de P.A. BESSE, Journal
of Lightwave Technology, vol.14, n°10, page 2290, 1996.

Dans le domaine des amplificateurs semi-conducteurs, on connaît des amplificateurs semi-conducteurs standards, et des amplificateurs semi-conducteurs à surface élargie.

5 Le composant type d'un amplificateur semi-conducteur standard est un guide d'onde monomode sur semi-conducteur, dont le coeur contient un matériau de type laser. Quand un courant est injecté, le matériau présente un gain et l'onde lumineuse est amplifiée.

10 Les figures 1A et 1B représentent l'évolution, respectivement de la puissance totale et de la puissance maximale dans une même section d'un tel amplificateur semi-conducteur standard. Dans l'exemple donné, on injecte une puissance lumineuse de -25 dBm et
15 la puissance totale en sortie est de 0 dBm. La puissance maximum suit la même progression.

Les amplificateurs à surface élargie permettent d'augmenter la puissance de sortie du dispositif en faisant en sorte que la densité maximum
20 de puissance n'atteigne pas le niveau de puissance de saturation. Cette dernière est uniquement fixée par le matériau et le courant. Pour cela, le guide d'onde est progressivement élargi. Bien que le guide d'onde devienne multimode, l'onde lumineuse reste couplée dans
25 le mode principal et s'élargit progressivement.

Il en résulte que le gain reste le même (25 dB) mais que la puissance de saturation augmente d'environ 7 dB. Les figures 2A et 2B représentent l'évolution, respectivement de la puissance totale et
30 de la puissance maximale dans une même section d'un amplificateur semi-conducteur à surface élargie.

Ce type de dispositif présente deux désavantages :

(i) il est difficile de coupler la lumière de sortie dans un guide d'onde monomode ou dans une fibre optique,

5 (ii) la structure est potentiellement instable vis-à-vis d'une modification locale de puissance induisant une modification d'indice, qui induit un couplage de l'onde dans un mode supérieur, et de nouveau une modification locale de puissance, etc.

10 Enfin, on connaît, par la communication de K. HAMAMOTO parue dans EICO'97, 2-4 Avril 1997, Stockholm, un MMI où tout le matériau actif du coupleur est un amplificateur.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

15 Par rapport à ces dispositifs connus, le coupleur à interférence multimode selon l'invention présente deux parties, une partie amplificatrice et une partie en un matériau transparent, permettant de guider le rayonnement amplifié dans la première partie.

20 La structure selon l'invention permet de réaliser un amplificateur possédant environ le même gain et la même puissance de saturation qu'un amplificateur à surface élargie. Il permet également un couplage de toute la lumière amplifiée dans un guide monomode, avec un minimum de pertes. Enfin, le coupleur
25 à interférence multimode selon l'invention ne présente pas l'instabilité caractéristique d'un amplificateur à surface élargie car, de par sa nature multimode, l'invention est peu sensible à une fluctuation d'indice.

30 Par rapport au dispositif décrit dans l'article de K. Hamamoto cité ci-dessus, une partie

seulement du coupleur multimode est utilisée en amplificateur. En effet dans la première partie du MMI selon l'invention, la puissance optique est déconcentrée et il est donc avantageux d'y amplifier le rayonnement. Dans la deuxième partie du MMI selon l'invention, la puissance optique est concentrée, par exemple sur un guide de sortie, et il est important de ne pas l'amplifier, pour ne pas saturer l'amplificateur. Le dispositif de Hamamoto ne tire donc pas profit d'une amplification sélective dans les zones où la puissance optique est faible, au contraire du dispositif objet de la présente invention.

De plus, le dispositif décrit par Hamamoto ne fait pas usage d'une partie en matériau transparent, mais est uniquement un dispositif d'amplification.

Un guide monomode peut être placé en sortie du coupleur selon l'invention.

Par ailleurs, le matériau amplificateur peut être une structure enterrée dans un substrat InP.

Le matériau amplificateur peut être un matériau laser, par exemple un alliage quaternaire InGaAsP. Ce matériau peut aussi être à puits quantiques.

L'invention concerne également un amplificateur optique comportant un préamplificateur optique et un coupleur selon l'invention, tel que décrit ci-dessus.

L'invention a également pour objet divers procédés :

- pour amplifier la puissance d'une source de lumière,
- ou pour compenser les pertes d'une fibre optique
- ou pour amplifier des signaux multiplexés en longueur d'onde,

ces divers procédés mettant en oeuvre un coupleur ou un amplificateur optique selon l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaissent mieux à la lumière de la description qui va suivre. Cette description porte sur les exemples de réalisation, donnés à titre explicatif et non limitatif, en se référant à des dessins annexés sur lesquels :

- 10 • les figures 1A et 1B représentent l'évolution de la puissance totale et de la puissance maximale dans une même section d'un amplificateur semi-conducteur standard,
- 15 • les figures 2A et 2B représentent l'évolution de la puissance totale et de la puissance maximale dans une même section d'un amplificateur semi-conducteur à surface élargie,
- 20 • la figure 3 représente la structure d'un coupleur selon l'invention,
- 25 • les figures 4A et 4B représentent l'évolution, respectivement de la puissance totale et de la puissance maximale dans une même section d'un coupleur selon l'invention,
- la figure 5 représente schématiquement un coupleur selon l'invention, de type 1x1,
- les figures 6A à 6D représentent diverses formes de frontière entre les deux parties d'un coupleur selon l'invention,

- la figure 7 est un exemple d'utilisation d'un coupleur selon l'invention, dans un dispositif intégré.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

5 La figure 3 représente schématiquement la structure d'un coupleur selon l'invention. Une première partie 2 est constituée d'un matériau amplificateur, et est suivi d'une partie 4 en matériau transparent passif. En fait, la première partie constitue une zone
10 amplificatrice (elle est typiquement constituée d'un matériau laser) et la deuxième partie est une zone de guidage multimode, constitué d'un matériau guide ou d'un matériau laser polarisé à la transparence.

15 La zone amplificatrice et la zone de guidage sont disposées de manière essentiellement perpendiculaire ou quasi-perpendiculaire, à la direction de propagation de la lumière incidente 8 et de la lumière 10 sortant du coupleur, de manière à ne pas perturber les propriétés de ce dernier.

20 Le dispositif qui vient d'être décrit se distingue d'autres dispositifs en onde guidée, tels que des « tapers » ou des lentilles, du fait qu'il est constitué d'une structure en ondes guidées multimode. L'onde lumineuse incidente est, effectivement, couplée
25 sur la plupart des modes du coupleur.

 De préférence, la forme du coupleur est choisie de manière à ce que le champ lumineux en entrée soit reproduit en sortie, en un ou plusieurs endroits, avec une atténuation, et un déphasage variable. Les
30 conditions permettant d'obtenir ce résultat sont

données dans l'article de L.B. SOLDANO, déjà cité ci-dessus dans l'introduction de la présente demande.

Les figures 4A et 4B représentent respectivement la puissance totale et la puissance maximale dans une section d'un coupleur selon l'invention, au cours de la propagation. Sur ces deux figures, le trait vertical indique la fin de la structure amplificatrice, ou la zone de frontière 6, entre la structure amplificatrice et le matériau guide. D'après ces figures, on voit que le gain reste de 25 dB mais que la puissance maximale est de -10 dBm, au lieu de 0 dBm pour une structure standard. La puissance de saturation est donc plus élevée de 10 dB. De plus, la lumière peut bien être recouplée dans un guide d'onde monomode. Le coupleur selon l'invention ne présente pas l'instabilité caractéristique de l'amplificateur à surface élargie car, de part sa nature multimode, le coupleur selon l'invention est peu sensible à une fluctuation d'indice.

La figure 5 représente un exemple de coupleur 1x1, c'est-à-dire avec un guide d'entrée 12 et un guide de sortie 14. Conformément à l'invention, une partie 2 du coupleur est utilisée en amplificateur. L'interface entre le milieu amplificateur et la zone guidée 4 peut être verticale ; mais elle peut être aussi légèrement inclinée (avec, par exemple, un angle de 2 à 8°) par rapport à cette verticale, et ceci afin d'éviter les problèmes de réflexion. Les deux premiers coins 16, 18 de coupleur ne sont pas nécessairement en matériau amplificateur car la lumière ne parvient pas dans ces régions.

D'autres exemples de structures de coupleurs selon l'invention, et en particulier

d'interface entre les zones d'amplification et de guidage, sont données sur les figures 6A à 6D. Sur la figure 6A, la zone d'interface 6 est légèrement courbée. Sur la figure 6B, elle est en forme de « V ». Sur la figure 6C, elle est en « zigzag ». Enfin, la figure 6B est un exemple de coupleur avec une interface inclinée par rapport au trajet des faisceaux incidents et émis, ou par rapport à la verticale (avec un angle, par exemple, d'environ 2 à 10° avec la verticale).

10

Le matériau amplificateur d'un coupleur selon l'invention peut être par exemple constitué d'une structure enterrée dans InP, d'un laser en quaternaire InGaAsP, ou de puits quantiques, avec le système d'électrodes et de dopage typique d'un amplificateur, comme décrit dans l'article de L.B. SOLDANO et al déjà cité ci-dessus. La zone transparente peut être constituée du même matériau polarisée à un courant différent, ou d'un matériau InGaAsP, ou de puits quantiques d'énergie de bandes interdites supérieures.

Les techniques de fabrication d'un coupleur selon l'invention mettent en oeuvre les techniques connues de l'art antérieur. Ces techniques sont par exemple décrites dans l'ouvrage de Y. SUEMATSU et al, intitulé « Handbook of semiconductor lasers and photonic integrated circuits », chapitre 13, pages 428-458 Chapman et Hall, 1994. Une structure selon l'invention est donc réalisé selon les méthodes standards de fabrication de guides d'onde : ruban enterré, ruban en arête, ruban chargé, ... La technologie des amplificateurs est, elle, standard (structure pin enterrée ou en arête). Les techniques d'intégration utilisées peuvent être le « butt-

coupling », l'épitaxie sélective, ou le couplage évanescent.

La figure 7 est un exemple d'utilisation de l'invention dans un dispositif intégré, par exemple sur semi-conducteur InP. Dans ce dispositif, le premier des coupleurs (par exemple : à 3 dB) d'un dispositif, type Mach-Zehnder, est remplacé par un coupleur selon l'invention.

Le dispositif décrit sur la figure 7 comporte successivement, de gauche à droite, un guide d'entrée 20, un amplificateur d'entrée 22 (réalisant une étape de pré-amplification), un coupleur 24 selon l'invention (ici : un coupleur en losange 1x2, à taux de répartition inégal, avec une moitié amplifiée), deux guides de sortie 26, deux amplificateurs standards 28, et un coupleur 30 2x2 standard.

Un autre exemple d'application de l'invention est la réalisation d'un amplificateur délivrant une puissance optique plus importante qu'un amplificateur semi-conducteur standard. Le dispositif selon l'invention peut alors être utilisé en tant que composant discret, ou bien il peut être intégré avec d'autres fonctionnalités sur un substrat semi-conducteur. Par exemple, le dispositif selon l'invention peut être placé à la sortie d'un laser-modulateur pour augmenter le niveau de puissance optique.

Dans cette application, la puissance incidente est déjà relativement élevée, par rapport à la fonction de pré-amplification pour laquelle la puissance incidente est faible. L'objectif de ce type

d'application est donc de pouvoir délivrer une puissance optique importante. Ce type de dispositif peut être utilisé dans les télécommunications optiques, par exemple après une source de lumière pour en
5 augmenter le niveau de puissance. Il peut également être utilisé en ligne pour compenser les pertes d'une fibre optique. Dans les deux cas, l'avantage de l'invention par rapport à un amplificateur à fibre dopée à l'erbium (traditionnellement utilisé) est que
10 l'amplificateur selon l'invention peut être intégré monolithiquement avec la source, pour former un composant compact.

Un autre exemple d'application concerne les
15 systèmes de transmission où un amplificateur très linéaire est nécessaire. Par exemple, l'amplification de signaux multiplexés en longueur d'onde nécessite un amplificateur très linéaire pour éviter la diaphonie entre canaux. Or, les amplificateurs à semi-conducteurs
20 sont rapidement non-linéaires : au-delà d'un certain niveau de puissance optique, leur gain diminue. Dans ce cas, la transmission du dispositif dépend du niveau de puissance incidente, ce qui est la définition de la non-linéarité. Or, cela peut poser divers problèmes de
25 déformation des signaux optiques. Par exemple, si un signal incident est composé d'ondes lumineuses à plusieurs longueurs d'onde, son passage à travers un dispositif non-linéaire provoque une diaphonie entre les différents canaux. Un amplificateur plus linéaire
30 permet de réduire l'ampleur de ce problème. Un exemple typique est celui d'une source intégrée monolithiquement, multilongueurs d'onde. Le dispositif selon l'invention

peut servir d'amplificateur intégré pour augmenter le niveau de puissance de sortie.

Un autre exemple est un dispositif de filtrage en ligne intégré, où le signal est traité (par
5 filtrage et modulation) avec des pertes optiques. Dans ce cas, rajouter un amplificateur selon l'invention permet d'augmenter le niveau de puissance sans distorsion.

Un autre exemple est l'utilisation de
10 l'amplificateur pour générer le signal optique par retournement spectral du champ optique. Pour cela, on utilise les propriétés de mélange à quatre ondes des amplificateurs semi-conducteurs (voir par exemple l'article de T. Ducellier et al. intitulé "Study of
15 optical phase conjugation in bulk travelling wave semiconductor optical amplifiers", paru dans IEEE Photonics Technology Letters, vol. 8(4), p. 530 (1996)). Un amplificateur très linéaire conforme à la présente invention se comporte mieux, dans cette
20 opération, qu'un amplificateur semi-conducteur classique et peut donc le remplacer avantageusement. L'efficacité du mélange à quatre ondes est en effet d'autant plus efficace que la puissance de sortie est élevée, ce que permet d'atteindre l'amplificateur selon
25 l'invention.

Selon encore un autre exemple, les convertisseurs de longueur d'onde sont des dispositifs intégrés comportant divers éléments optiques, tels que guides d'onde, jonctions Y, coupleurs, amplificateurs
30 semi-conducteurs. Pour les utiliser, il faut de très fortes puissances optiques, ce qui est peu pratique. L'invention peut donc être utilisée avantageusement comme amplificateur intégré, en utilisant les mêmes

matériaux que les amplificateurs déjà présents sur la
puce (ceux-ci sont d'ailleurs utilisés dans ce
dispositif pour leurs propriétés non-linéaires). De par
la géométrie différente, la même couche amplificatrice
5 sert d'amplificateur non-linéaire ou linéaire, ce qui
facilite la réalisation.

REVENDICATIONS

1. Coupleur à interférences, multimode, comportant :
- une première partie (2) amplificatrice,
 - une seconde partie (4) transparente, pour guider un rayonnement préalablement amplifié dans la première partie.
2. Coupleur selon la revendication 1, les première et seconde parties étant séparées par une interface (6) incurvée.
3. Coupleur selon la revendication 1, les première et deuxième parties étant séparées par une interface (6) en « V ».
4. Coupleur selon la revendication 1, les première et deuxième parties étant séparées par une interface (6) en zigzag.
5. Coupleur selon la revendication 1, les première et deuxième parties étant séparées par une interface (6) inclinée sur le trajet de rayons entrant (8) et sortant (10).
6. Coupleur selon la revendication 1, les première et deuxième parties étant disposées de manière sensiblement perpendiculaire au trajet d'un faisceau incident (8) et d'un faisceau sortant (10).
7. Coupleur selon l'une des revendications précédentes, un guide monomode étant placée en sortie de la seconde partie.
8. Coupleur selon l'une des revendications précédentes, le matériau amplificateur étant une structure enterrée dans un substrat en InP.
9. Coupleur selon l'une des revendications 1 à 7, le matériau amplificateur étant un matériau laser.

10. Coupleur selon la revendication 9, le matériau laser étant en quaternaire InGaAsP.

11. Coupleur selon l'une des revendications 1 à 7, le matériau amplificateur étant à puits
5 quantiques.

12. Amplificateur optique comportant :
- un préamplificateur optique,
- un coupleur selon l'une des revendications 1 à 11.

13. Procédé pour amplifier la puissance
10 d'une source de lumière émettant un rayonnement, consistant à placer, sur le trajet dudit rayonnement un coupleur selon l'une des revendications 1 à 11 ou un amplificateur optique selon la revendication 12.

14. Procédé pour compenser les pertes d'une
15 fibre optique consistant à placer, sur le trajet d'un rayonnement circulant dans la fibre optique, un coupleur selon l'une des revendications 1 à 11 ou un amplificateur optique selon la revendication 12.

15. Procédé d'amplification de signaux
20 multiplexés en longueur d'onde, consistant à augmenter le niveau de puissance de sortie à l'aide d'un coupleur selon l'une des revendications 1 à 11 ou d'un amplificateur optique selon la revendication 12.

25

1/3

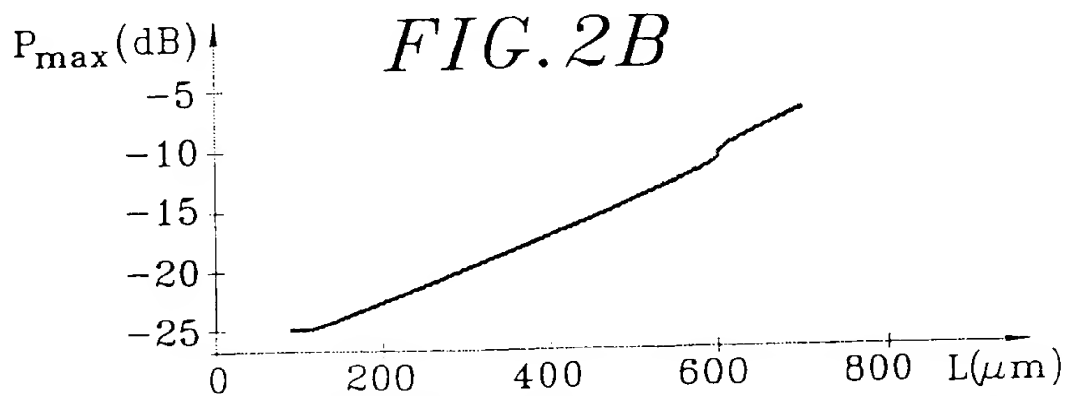
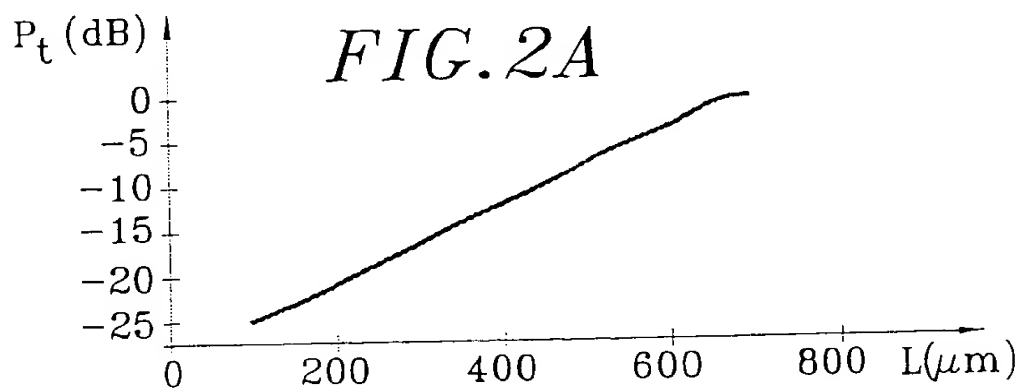
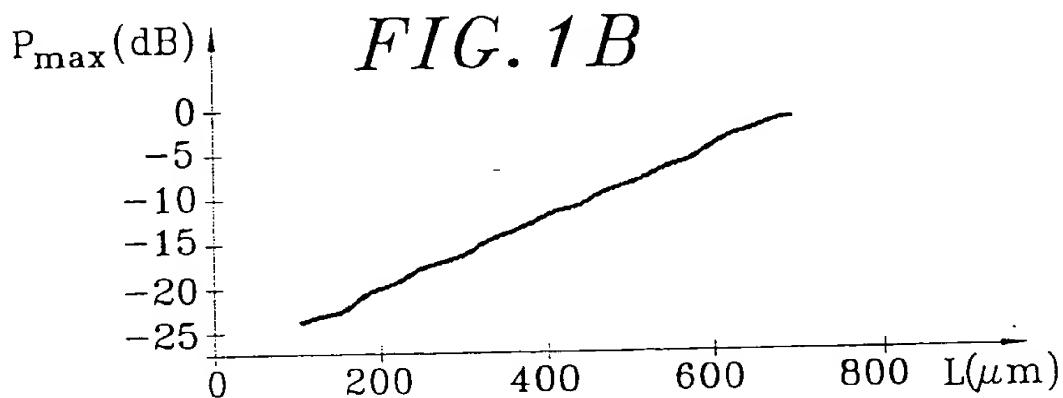
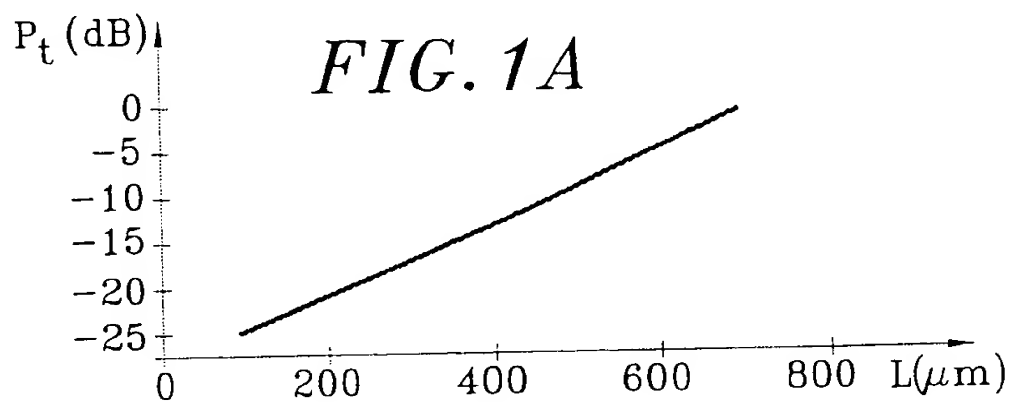


FIG. 3

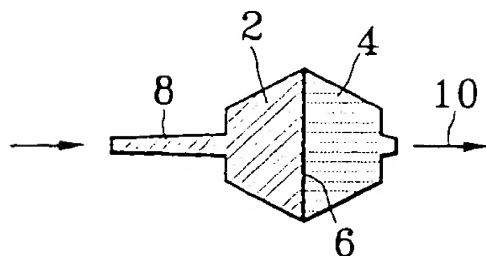


FIG. 5

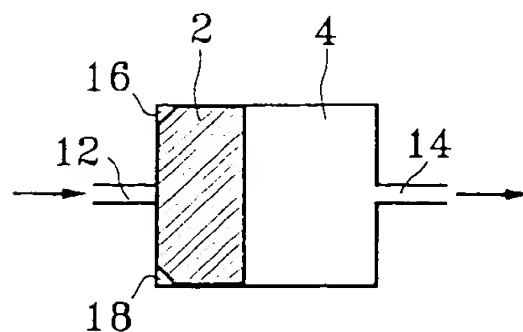


FIG. 4A

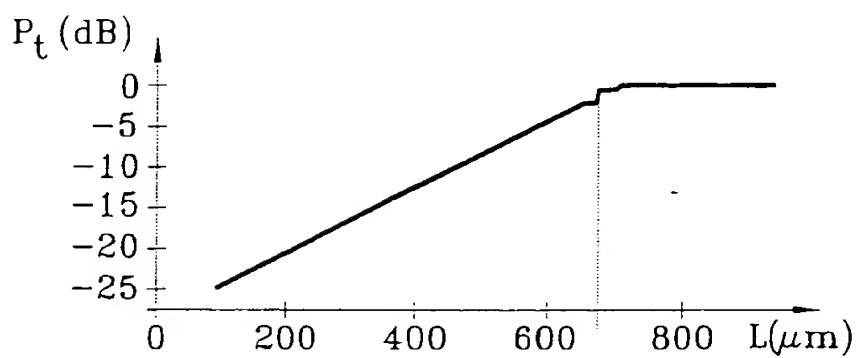


FIG. 4B

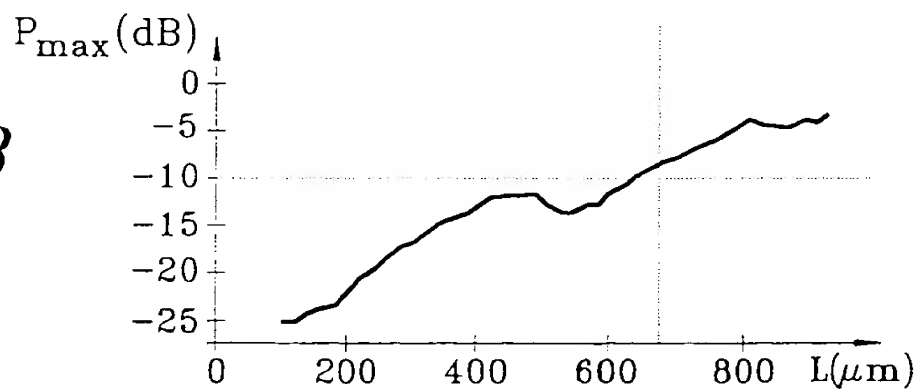


FIG. 7

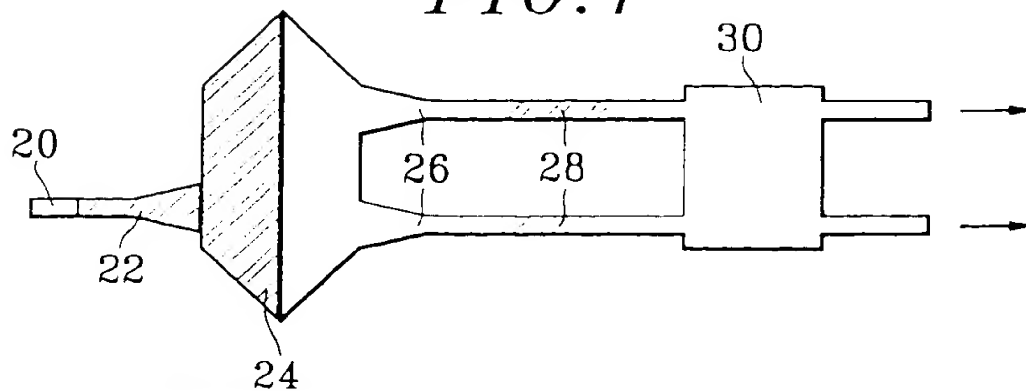


FIG. 6A

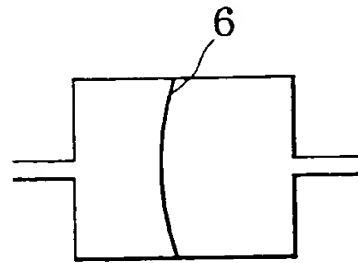


FIG. 6B

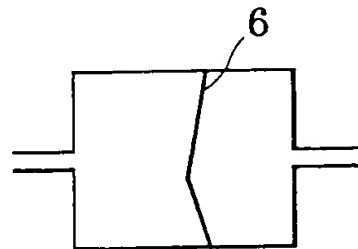


FIG. 6C

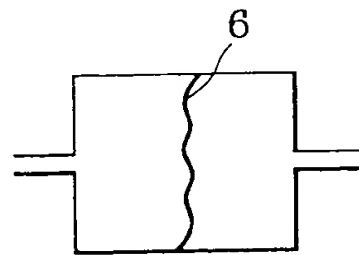


FIG. 6D

